

стійника – 2/3 його довжини, то за звичайної коагуляції завись розподілялася рівномірніше по довжині.

Таким чином, при підготовці екологічно чистої питної води сьогодні особливу увагу приділяють інтенсифікації процесу очищення природних і стічних вод, удосконаленню і розробці нових ефективних методів.

Незважаючи на незавершеність технічних і, особливо, наукових розробок, магнітну водопідготовку дедалі ширше використовують на підприємствах хімічної промисловості, в теплоенергетиці, комунальному господарстві.

При використанні активованого розчину сульфату алюмінію утворюються крупніші, ніж при звичайній коагуляції, пластівці. Дрібних пластівців практично немає, концентрація завислих речовин в нижньому шарі горизонтального відстійника більш висока, осад щільніший, ніж при обробці води звичайним розчином коагулянту. Найбільше впливає активований розчин коагулянту на завислі речовини з гідравлічною крупністю 0,2 мм/с і менше. Застосування магнітно-електричної активації розчину коагулянту доцільно при вмісті завислих речовин у вихідній воді до 250 мг/л.

1. Душкин С.С. Исследование процессов осаждения коагулированных примесей при очистке воды в системах промышленного водоснабжения // Коммунальное хозяйство городов: Наук.-техн. сб. Вып. 51. – К.: Техніка, 2003. – С.112-116.

2. Душкин С.С. Математическая модель процесса накопления осадка в отстойниках // Тезисы докладов XXXII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников ХНАГХ. – Харьков, 2004. – С.28-30.

3. Душкин С.С., Булгакова О.В. Повышение эффективности очистки воды для питьевого водоснабжения // Материали Всеукр. наук.-практ. конф. – Алушта: ХО НТТ КГ та ПО, ХНАМГ, 2005. – С.166-170.

Отримано 05.11.2006

УДК 541.183.543

В.И.БЕЛЯЕВ, канд. техн. наук, В.М.БЕЛЯЕВА

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИОННОГО ОБМЕНА ДЛЯ ОЧИСТКИ МАЛОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ

Рассматривается вопрос применения ионообменных смол для очистки малоконцентрированных сточных вод от ионов металлов, что позволит обеспечить не только глубокую очистку сточных вод, но и вернуть в производство ценные продукты.

На предприятиях цветной металлургии в технологических процессах образуются сточные воды, загрязненные солями тяжелых ме-

таллов. Эти вещества являются токсичными для водных организмов и растений, а в более высоких концентрациях и для человека. Поэтому сточные воды от предприятий цветной металлургии, вследствие их высокой токсичности, не могут быть сброшены в открытые водоемы без соответствующей обработки.

Применение ионообменных смол позволяет обеспечить не только глубокую очистку сточных вод, но и возвратить в производство ценные продукты. Сточные воды последовательно проходят катионитовые фильтры, заполненные смолой К-02 в Н-форме, и анионитовые фильтры, в которые загружена смола АВ-17 в ОН-форме. Такая технологическая схема позволяет получить почти полностью обессоленную воду. Остаточное солесодержание очищенной воды не превышает 15 мг/л. Поэтому такая вода без всяких ограничений может быть использована для любых технологических целей [1].

Вместе с тем технологическая схема полного обессоливания сточных вод с применением метода ионообмена имеет целый ряд недостатков, а именно [2]:

- 1) большие затраты на строительство установки и ее эксплуатацию;
- 2) сложная и дорогостоящая схема переработки элюатов;
- 3) трудно балансируемые расходы кислот и щелочных промывных вод от фильтров и, как следствие, снижение производительности установки;
- 4) возможность гипсация загрузки катионовых фильтров вследствие применения в цикле регенерации концентрированных растворов серной кислоты.

Технологическая схема ионообменного способа очистки сточных вод от солей тяжелых металлов может быть значительно упрощена за счет применения натрий-катионирования. В этом случае вода проходит через фильтры, заполненные катионитом в Na-форме. При этом все ионы металлов и водорода, содержащиеся в стоках, обмениваются на ион натрия. Вода после натрий-катионовых фильтров становится умягченной и нетоксичной. Такую воду можно использовать не только для охлаждения оборудования и первичной промывки изделий, но и допустимо применять в качестве питательной воды для котлоагрегатов среднего давления [3].

При использовании для очистки сточных вод натрий-катионирования значительно упрощается аппаратное оформление, а также снижаются затраты на регенерацию фильтров. Как показали исследования, наиболее целесообразно применение натрий-катионирования после очистки стоков, загрязненных преимущественно одним

компонентом. В этом случае одновременно решаются задачи использования очищенной воды и утилизации ценного компонента.

Сточные воды заводов по обработке цветных металлов представляют собой сложную солевую систему, в состав которой входят (мг/л): серная кислота 290-180, медь 60-350, цинк 22-190, кальций 40-100 [1].

С целью определения возможности использовать метод натрий-катионирования для кондиционирования сточных вод такого сложного состава были изучены равновесные и кинетические закономерности сорбции ионов меди, цинка и кальция на катионите КУ-2 в натриевой форме. Было установлено, что скорость сорбции ионов тяжелых металлов на катионите не отличается от скорости ионообмена на катионите в водородной форме. На основании полученных изотерм сорбции были рассчитаны константы обмена для меди, цинка и кальция. Для условия обмена ионов натрия на ионы Cu, Zn и Ca из растворов с pH 5-7, которые по концентрации индивидуальных компонентов соответствовали составу сточных вод, значение констант обмена оказались равными $K^{Cu/Na} = 16,3$; $K^{Zn/Na} = 14,4$; $K^{Ca/Na} = 19,1$. Из приведенных данных следует, что наименее сорбируемым в системе является ион цинка. Вместе с тем исследования показали, что при сорбции ионов тяжелых металлов из кислых растворов с pH 2-3 катионитом КУ-2 в Na-форме наименее сорбируемым оказывается ион водорода.

Так как карбоксильные катионы типа КБ-4П, имеющие в своем составе функциональные группы COOH, энергично поглощают ионы водорода, эта смола была испытана в качестве ионообменного материала для фильтров второй ступени очистки сточных вод заводов ОЦМ. На первой стадии обработки через катион КУ-2 в натриевой форме. При этом ионы металлов обмениваются на ион натрия, а ион водорода сорбируется лишь частично. Нейтрализация воды за счет сорбции ионов водорода из раствора осуществляется при фильтрации стоков через катионит КБ-4П в Na-форме.

Такая схема очистки позволяет не только надежно проводить кондиционирование сточной воды, но и экономить реагенты на стадии регенерации катионита. При последовательной фильтрации кислых сточных вод через сульфостирольный и карбоксильный катиониты на первом этапе происходит сорбция тяжелых цветных металлов, а на втором – обмен ионов натрия на водород. Так как ионит КБ-4П может работать только в натриевой форме, для его регенерации и перевода в натриевую форму необходимо последовательное применение серной кислоты и щелочи. При двухступенчатой очистке кислых стоков с использованием ионитов КУ-2 и КБ-4П в Na-форме кислота для регенерации не требуется, так как на стадии сорбции катионит КБ-4П пере-

ходит в Н-форму.

Применение натрий катионирования для кондиционирования сточных вод, возвращаемых в оборотную систему, приводит, как показали исследования, к накоплению в воде солей натрия.

Известно, что присутствие в воде, кроме сорбируемого компонента, и других конкурирующих ионов в значительной степени влияет на емкость ионита по основному элементу. Характер изменения емкости катионита в процессе водооборота приведен в табл.1.

Таблица 1 – Изменение солесодержания воды и емкости смолы при водообороте (подпитка 20%)

Показатели	Количество циклов										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Солесодержание, мг/л:											
- исходная вода	1120	991	1610	1944	2320	2832	2850	3257	3213	3244	3067
- фильтрат	938	1012	1569	1794	1722	2631	2720	2999	3121	2996	2909
Емкость, мг-экв	3,89	4,85	2,3	2,5	3,6	2,84	2,8	3,06	3,5	3,3	3,18

С помощью метода математического планирования эксперимента была определена зависимость ДОЕ КУ-2 в натриевой форме от концентрации в растворе меди, натрия и свободной кислоты. Условия проведения опытов по изучению влияния состава раствора на ДОЕ КУ-2 и результаты этих опытов представлены в табл.2.

Таблица 2 – Условия, матрица планирования и результаты опытов по сорбции меди

Номер опыта и область изменения фактора	Планируемые факторы			Значение отклика величина динамической емкости, мг-экв/л, ДОЕ
	концентраций ионов, мг/л меди, натрия, водорода, мг-экв/л			
	X ₁	X ₂	X ₃	
1	2	3	4	5
1	50	0	0,71	2,04
2	250	0	0,71	2,5
3	50	10	0,71	1,67
4	250	20	0,71	1,97
5	50	0	4,71	0,117
6	250	0	4,71	0,116
7	50	20	4,71	0,04
8	250	20	4,71	0,206
Основной уровень	150	10	2,71	
Интервал варьирования	100	10	2	
Верхний уровень (+1)	250	20	4,71	
Нижний уровень (-1)	50	0	0,71	

После математической обработки результатов было получено уравнение регрессии, выражающее зависимость емкости катионита по

меди от ее концентрации в исходном растворе, а также от концентрации натрия и кислоты

$$y = 1,0824 + 0,118x_1 - 0,1097x_2 - 0,9647x_3 - 0,074x_1x_3 + 0,1147x_2x_3 + 0,0388x_1x_2x_3.$$

С помощью полученного уравнения можно рассчитать емкость смолы для условий сорбции меди из водных растворов, в которых концентрация меди колеблется в диапазоне (мг/л) от 50 до 250; цинка от 30 до 170; натрия от 0,7 г/л до 4,7 г/л; кислотность от 0 до 20 мг-экв/л.

Требования практической задачи обусловили необходимость ведения процесса очистки сточных вод до проскока наименее сорбируемого иона. В этом случае многокомпонентную систему следует рассчитывать как однокомпонентную, если принять концентрацию наименее сорбируемого иона равной суммарной концентрации смеси. Для условной очистки сточных вод заводов по обработке цветных металлов при соответствии ионов $Cu/Zn > 1,5$ в воде наименее сорбируемым компонентом является медь.

С целью уточнения результатов лабораторных исследований была проведена экспериментальная проверка кондиционирования сточных вод методом натрий-катионирования на полупромышленной установке. В состав установки входили: два катионитовых фильтра, сборник для сточных вод, бак для растворения хлористого натрия, сборник фильтрата, насос для подачи воды и растворов на установку, система трубопроводов с запорной арматурой. Катионитовый фильтр представлял собой колонку диаметром 50 и высотой 2000 мм, выполненную из органического стекла. Высота слоя сорбента – 100 мм.

Результаты наиболее характерных опытов по очистке сточных вод Артемовского завода ОЦМ на полупромышленной установке приведены в табл.3. Полученные данные подтвердили возможность использования метода натрий-катионирования для кондиционирования сточных вод, содержащих свободную кислоту и соли тяжелых металлов.

Главной статьей расхода при ионообменном способе очистки воды является стоимость реагентов, идущих на регенерацию смол. При использовании двухступенчатой схемы с применением смол КУ-2 и КБ-4П их регенерацию проводят соответственно 10%-ными растворами NaCl и NaOH. Исследования показали, что путем смешивания в определенных пропорциях полученных элюатов удастся выделить часть тяжелых металлов в виде гидрооксидного осадка, а осветленный раствор после корректировки величины pH использовать в качестве элюента на стадии регенерации.

Таблица 3 – Результаты очистки сточных вод Артемовского завода ОЦМ методом натрий-катионирования на КУ-2

Фильтроцикл	Марка смолы	Вес загрузки сухой смолы, г	Объем загрузки, мл	Сорбция			ДОЕ по сумме катионов, мг-экв/г	скорость, м/ч	л	Элюирование		степень регенерации Ca^{2+}/Zn^{2+} , %	Промывка	
				скорость фильтрации, м/час	пропущено л	уд. объем				уд. объем	уд. расход г/г-экв		режим промывки	удельный расход воды, м ³ /м ³ юнита
I	КУ-2	912,03	1962,5	10	185,4	94,47	3,19	1	9	4,59	201	12,7/10,2	снизу вверх	4,07
	КБ-4П	449,74	2158,75	10	185,4	85,9	7,87	1,5	5	2,3	141		сверху вниз	3,7
II	КУ-2	912,03	1962,5	10	207	105,5	3,14	3	11	5,61	285	10,8/8,58	сверху вниз	5,1
	КБ-4П	306,64	1471,9	10	207	140,6	6,14	1	3	2,04	159,4		снизу вверх	10,2
III	КУ-2	884,65	1903,6	10	203	106,6	3,28	1	8	4,2	226	12,95/10,1	сверху вниз	5,2
	КБ-4П	327	1570	10	203	129,3	6,27	1	4	2,55	195		снизу вверх	3,9
IV	КУ-2	574,6	1236,4	15	113,5	91,8	2,63	1,3	6	4,85	419	5,65/6,3	-	-
	КБ-4П	286,2	1373,75	15	113,5	82,6	3,57	регенерация не проводилась				81/100		

Примечание: состав сточной воды: pH = 2,5 – 3,5; кислотность – 4,4 мг-экв/л;

Cu = 178 мг/л; Zn = 70 – 145 мг/л; Fe = 12 – 45 мг/л;

Ca = 12 – 76 мг/л; Mg = 7 – 50 мг/л; сухой остаток 2400 – 6100 мг/л;

элюент: NaCl 10%, NaOH 10%

Таким образом, за счет применения химического способа переработки элюентов можно не только снизить затраты на утилизацию уловленных из сточных вод ценных компонентов, но и сократить удельные расходы реагентов на регенерацию катионита в 1,5-2 раза.

Внедрение разработанной технологии кондиционирования сточных вод на заводах по обработке цветных металлов позволит снизить на 40-60% капитальные и эксплуатационные затраты, по сравнению с технологической схемой полного обессоливания воды, и создаст благоприятные условия для перехода предприятия на бессточную систему водоснабжения.

1. Федулов Ю.М., Алексеева В.В. Цветные металлы. – М.: Металлургия, 1985. – 220 с.
2. Лебедев К.Б. Иониты в цветной металлургии. – М.: Металлургия, 1985. – 250 с.
3. Гельферих Ф. Иониты. Основы ионного обмена. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1982. – 450 с.

Получено 05.11.2006

УДК 541.18.045

Н.М.ЯКОВЕНКО

Харьковская национальная академия городского хозяйства

БАРОМЕМБРАННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ЭЛЕМЕНТ БЕССТОЧНЫХ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Рассматриваются вопросы использования баромембранной технологии для создания бессточных систем водоснабжения.

Ориентация промышленности на резкое сокращение отходов и на создание замкнутых производственных циклов с оборотным водоснабжением требует совершенствования технологии очистки сточных вод.

Основное количество воды предприятий потребляется охлаждающими системами прямоточного и оборотного водоснабжения.

Пригодная для охлаждения вода должна обладать следующими свойствами: термостабильность; не вызывать коррозии; не способствовать развитию биобрастаний; не содержать взвешенных веществ [1].

Косвенными показателями воды могут быть общее солесодержание, карбонатная жесткость, щелочность, рН, БПК, ХПК, окисляемость.

Сточные воды промышленных предприятий могут быть загрязнены различными веществами и содержать обычно отходы сырья, а иногда и готовую продукцию. Характер и концентрация загрязнений сточных вод зависят от технологии производства, а также от вида сы-